

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
11 janvier 2001 (11.01.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/03172 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷: H01L 21/20

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/FR00/01898

(22) Date de dépôt international: 29 juin 2000 (29.06.2000)

(25) Langue de dépôt: français

(26) Langue de publication: français

(30) Données relatives à la priorité:
99/08380 30 juin 1999 (30.06.1999) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];
31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15^{ème} (FR).

Bernard [FR/FR]; 110, Lot. Le Rameau des Ayes,
F-38140 Rives (FR). BRUEL, Michel [FR/FR]; Presvert
9, F-38113 Veurey (FR). JAUSSAUD, Claude [FR/FR];
6, allée des Tonnelles, F-38240 Meylan (FR). LAGAHE,
Chrystelle [FR/FR]; Le Vieux Lavoir, 49, rue de l'Isle,
F-38340 Voreppe (FR).

(74) Mandataire: LEHU, Jean; Brevatome, 3, rue du Docteur
Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (national): CN, JP, KR, SG, US.

(84) États désignés (régional): brevet européen (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

(72) Inventeurs; et

Publiée:

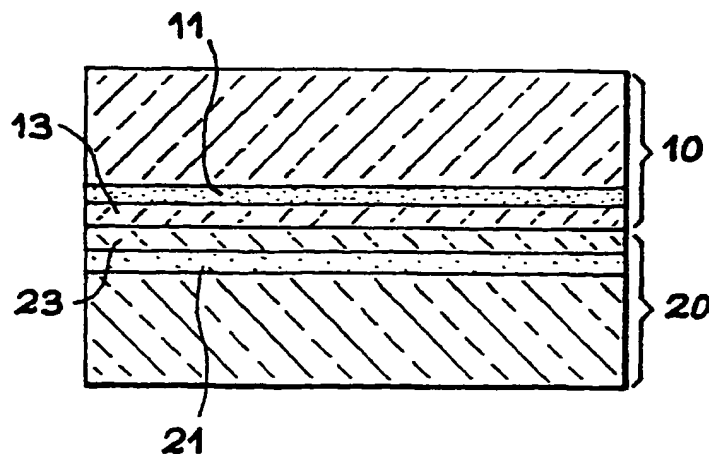
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): ASPAR,

— Avec rapport de recherche internationale.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A THIN MEMBRANE AND RESULTING STRUCTURE WITH MEMBRANE

(54) Titre: PROCEDE DE REALISATION D'UNE MEMBRANE MINCE ET STRUCTURE A MEMBRANE AINSI OBTENUE



(57) Abstract: The invention concerns a method for producing a thin membrane, comprising the following steps which consist in: implanting gaseous species through a surface of a first substrate (10) and through a surface of a second substrate (20) for generating in said substrates microcavities (11, 21) delimiting for each substrate a thin layer (13, 23) sandwiched between said microcavities and the implanted surface, the microcavities being capable of causing, after they have been implanted, the thin layer to be detached from its substrate; assembling the first substrate (10) on the second substrate (20) such that their implanted surfaces are opposite each other; detaching each thin layer (13, 23) from its substrate (10, 20), the thin layers remaining assembled together to provide said thin membrane. The invention also concerns a structure with a thin membrane obtained by said method.

[Suite sur la page suivante]

WO 01/03172 A1



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé: L'invention concerne un procédé de réalisation d'une membrane mince, comprenant les étapes suivantes: implantation d'espèces gazeuses au travers d'une face d'un premier substrat (10) et au travers d'une face d'un second substrat (20) apte à créer dans ces substrats des microcavités (11, 21) délimitant pour chaque substrat une couche mince (13, 23) comprise entre ces microcavités et la face implantée, les microcavités étant aptes à provoquer, postérieurement à leur implantation, le détachement de la couche mince de son substrat; assemblage du premier substrat (10) sur le second substrat (20) de façon que leurs faces implantées soient en regard; détachement de chaque couche mince (13, 23) de son substrat (10, 20), les couches minces restant assemblées entre elles pour fournir ladite membrane mince. L'invention concerne également une structure à membrane mince obtenue par ce procédé.

**PROCEDE DE REALISATION D'UNE MEMBRANE MINCE ET
STRUCTURE A MEMBRANE AINSI OBTENUE**

Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé de réalisation d'une membrane mince et la structure à membrane ainsi obtenue. Cette membrane peut être constituée d'un ou de plusieurs matériaux, en particulier des matériaux monocristallins. Elle peut être autoportée ou fixée sur un substrat support permettant de rigidifier la structure ainsi obtenue.

10 Ce type de membrane présente de nombreux intérêts. On peut citer à titre d'exemple les substrats 15 compliants pouvant utiliser une membrane selon l'invention ou tout autre application où un film mince est nécessaire (film de silicium sur substrat verre ou plastique). Par substrat compliant, on entend une structure capable d'accepter des contraintes induites 20 par une structure qui y adhère et qui peut être une couche déposée sur une surface de ce substrat par exemple par hétéroépitaxie.

Etat de la technique antérieure

25

Le document FR-A-2 681 472 décrit un procédé de fabrication de films minces de matériau 30 semiconducteur. Ce document divulgue que l'implantation d'un gaz rare ou d'hydrogène dans un substrat en matériau semiconducteur est susceptible de créer des microcavités ou des microbulles (encore désignées par le terme "platelets" dans la terminologie anglo-saxonne) à une profondeur voisine de la 35 profondeur moyenne de pénétration des ions implantés. Si ce substrat est mis en contact intime, par sa face

implantée avec un raidisseur et qu'un traitement thermique est appliqué à une température suffisante, il se produit une interaction entre les microcavités ou les microbulles conduisant à une séparation du substrat

5 semiconducteur en deux parties : un film mince semiconducteur adhérent au raidisseur d'une part, le reste du substrat semiconducteur d'autre part. La séparation a lieu à l'endroit où les microcavités ou microbulles sont présentes. Le traitement thermique est

10 tel que l'interaction entre les microbulles ou microcavités créées par implantation induit une séparation entre le film mince et le reste du substrat. Il y a donc transfert d'un film mince depuis un substrat initial jusqu'à un raidisseur servant de

15 support à ce film mince.

Ce procédé peut également s'appliquer à la fabrication d'un film mince de matériau solide autre qu'un matériau semiconducteur (un matériau conducteur ou diélectrique), cristallin ou non.

20 Les procédés décrits par les documents FR-A-2 681 472 (correspondant au brevet américain 5 374 564) déjà cité et FR-A-2 767 416 permettent le report d'un film mince de matériau homogène ou constitué de multicouches homogènes ou hétérogènes sur

25 un support mécanique encore appelé raidisseur. Ce report est réalisé de façon avantageuse à l'aide d'un traitement thermique. Cependant, ce traitement thermique peut être associé ou entièrement remplacé par une séparation mécanique, par exemple à l'aide de

30 forces de traction et/ou de cisaillement et/ou de flexion, appliquées de façon séparées ou combinées entre elles. Un tel procédé est décrit dans le document FR-A-2 748 851.

Il a également été démontré que cette

35 technique pouvait être utilisée sans raidisseur lorsque

les ions implantés sont localisés à une profondeur suffisante pour induire la fracture sur l'ensemble du substrat sans formation de cloques au niveau de la surface implantée. On pourra se reporter à ce sujet au document FR-A-2 738 671 (correspondant au brevet américain 5 714 395). Dans ce cas, pour obtenir une fracture il est nécessaire que la zone de microcavités soit à une profondeur minimale par rapport à la surface implantée pour que le film mince soit suffisamment rigide. Cette rigidité peut également être obtenue par l'utilisation d'une ou de plusieurs couches déposées sur la couche mince avec fracture.

Les documents cités ci-dessus décrivent des procédés qui permettent d'obtenir une couche mince de matériau. Cette couche peut être homogène, contenir tout ou partie d'un composant microélectronique ou optoélectronique, ou bien encore être hétérogène. Par hétérogène on entend qu'elle peut être constituée de plusieurs éléments empilés les uns sur les autres. Ces empilements de couches sont généralement obtenus par croissance épitaxiale. Avec la croissance épitaxiale se pose alors un problème de compatibilité entre les différentes couches. Ces problèmes de compatibilité sont par exemple des paramètres de maille très différents qui entraînent la présence de dislocations dans au moins une des couches. A partir de ces résultats, il apparaît donc impossible d'obtenir certaines structures.

D'autre part, le document FR-A-2 738 671 déjà cité indique que l'implantation doit être effectuée à une énergie telle que la profondeur de pénétration des ions soit supérieure ou égale à une profondeur minimale pour que le film soit rigide. Il est indiqué que dans le silicium la profondeur de pénétration minimale est de l'ordre de 5 μm voire 4 μm .

Ceci correspond à une énergie d'implantation d'environ 500 keV. Dans le cas du carbure de silicium qui est un matériau beaucoup plus rigide que le silicium, l'épaisseur minimale de film mince possible est de l'ordre de 1 μm . Ce procédé permet donc d'obtenir des films ou couches minces qui ont des épaisseurs supérieures à une épaisseur limite procurant à la couche mince une certaine rigidité. Il est indiqué qu'une couche mince rigide est une couche dont les propriétés mécaniques sont suffisantes pour éviter que l'application de la deuxième étape (qui correspond à un traitement thermique et/ou mécanique) ne se traduise par l'apparition de gonflements, de bulles et d'éclatements de bulles et donc pour que l'application de la deuxième étape se traduise par un décollement de la surface. Cependant, par ce procédé, il est impossible, suivant la nature mécanique du film désirée, d'obtenir des films minces autoportées avec des implantateurs standard du commerce, c'est-à-dire avec des implantateurs permettant d'implanter à une énergie maximale de 200 keV. Par exemple, il est impossible d'obtenir un film de silicium de 4 μm d'épaisseur avec une telle énergie.

Un autre problème se pose lorsque l'on désire utiliser un implantateur standard (énergie inférieure à 200 keV) pour reporter un film mince sur un support quelconque, c'est-à-dire un support qui n'offre pas une rigidité suffisante pour obtenir un effet raidisseur. Par exemple, il n'est pas possible de reporter un film de silicium monocristallin sur un support souple tel qu'un support en plastique sans passer par un support intermédiaire, de type poignée, comme cela est divulgué par le document FR-A-2 725 074. Il serait pourtant avantageux de disposer d'un procédé qui permette de s'affranchir de cette poignée et qui

permette le report direct du film mince sur son support final.

Exposé de l'invention

5

L'invention apporte une solution aux problèmes énoncés ci-dessus. Il est proposé de fixer deux substrats l'un à l'autre par leur face implantée, l'implantation étant réalisée de façon que le phénomène
10 de clivage des substrats puisse avoir lieu au niveau des zones implantées. Il est alors possible d'obtenir une membrane constituée par la réunion de deux couches minces. Cette membrane peut être reportée sur tout type
15 de support (semi-conducteur, métallique, plastique, céramique) sans aucune condition sur les forces d'adhérence (fortes ou faibles) entre la membrane et le support.

L'invention a donc pour objet un procédé de réalisation d'une membrane mince, caractérisé en ce
20 qu'il comprend les étapes suivantes :

- implantation d'espèces gazeuses au travers d'une face d'un premier substrat et au travers d'une face d'un second substrat apte à créer dans ces substrats des microcavités délimitant pour chaque
25 substrat une couche mince comprise entre ces microcavités et la face implantée, les microcavités étant aptes à provoquer, postérieurement à leur implantation, le détachement de la couche mince de son substrat ;

- assemblage du premier substrat sur le
30 second substrat de façon que les faces implantées soient en regard ;

- détachement de chaque couche mince de son substrat, les couches minces restant assemblées entre
35 elles pour fournir ladite membrane mince.

On entend par espèces gazeuses des éléments, par exemple d'hydrogène ou de gaz rares, sous leur forme atomique (par exemple H) ou sous leur forme moléculaire (par exemple H₂) ou sous leur forme ionique (par exemple H⁺, H₂⁺, ...) ou sous leur forme isotopique (par exemple deutérium) ou sous forme isotopique et ionique.

Par ailleurs, on entend par implantation tout type d'introduction des espèces définies précédemment, seul ou en combinaison, tel que le bombardement ionique, la diffusion, etc.

Selon une première variante de mise en œuvre, les étapes se déroulent dans l'ordre suivant :

- implantation du premier substrat et du second substrat,

- assemblage du premier substrat sur le second substrat selon les faces implantées,

- détachement de chaque couche mince, soit de manière simultanée soit de manière successive.

Selon une deuxième variante de mise en œuvre, les étapes se déroulent dans l'ordre suivant :

- implantation du premier substrat,

- assemblage de la face implantée du premier substrat sur une face du second substrat destinée à être implantée par la suite,

- détachement de la couche mince du premier substrat, laquelle reste assemblée sur le second substrat,

- implantation du second substrat au travers de la couche mince détachée du premier substrat,

- détachement de la couche mince du second substrat, laquelle reste assemblée à la couche mince du premier substrat pour fournir ladite membrane mince.

Dans les deux substrats, il peut être prévu une étape préliminaire à l'implantation et à l'assemblage des deux substrats, consistant à réaliser une couche d'inclusions dans le substrat à implanter, à
5 une profondeur correspondant à l'épaisseur désirée pour la couche mince à élaborer dans ce substrat, les inclusions constituant des pièges pour les espèces gazeuses qui seront ensuite implantées, par exemple par implantation ionique ou diffusion. La couche
10 d'inclusions peut être formée par une technique de dépôt de film. Elle peut consister en une génération de colonnes ou une génération de joints de grains.

La profondeur moyenne d'implantation des espèces gazeuses peut être, dans un substrat en
15 matériau monocristallin, déterminée en fonction de la disposition du réseau cristallographique du matériau monocristallin par rapport à la direction d'implantation. Pour une énergie donnée, des profondeurs moyennes de pénétration des espèces
20 gazeuses plus importantes peuvent être obtenues si on utilise la canalisation des ions ou des espèces introduites. Pour cela, il suffit d'implanter parallèlement à une direction ou à un plan cristallographique (cas d'un matériau monocristallin
25 uniquement). De façon opposée, on peut réduire la profondeur d'implantation à une énergie donnée en effectuant une implantation inclinée. Dans ce cas, on oriente l'axe cristallographique du matériau de façon qu'il n'y ait pas de direction préférentielle de
30 pénétration des ions dans le matériau.

Eventuellement, l'implantation est réalisée au travers d'une face du premier substrat et/ou du second substrat à partir de laquelle tout ou partie
d'au moins un composant électronique et/ou
35 optoélectronique et/ou optique et/ou un microsystème a

été élaboré. L'implantation peut être effective même pour des zones masquées.

Selon un autre mode de réalisation, le détachement de chaque couche mince se faisant de manière successive, on élabore, après qu'un premier détachement de couche mince a été réalisé, tout ou partie d'au moins un composant électronique et/ou optoélectronique et/ou optique et/ou un microsystème sur la couche mince révélée par ce premier détachement. A titre d'exemple, le composant réalisé dans une couche mince est une mémoire DRAM. Si une topologie est présente en surface, cette surface peut être planarisée avant la mise en contact.

L'assemblage du premier substrat sur le second substrat peut se faire par une technique choisie parmi le collage par adhésion moléculaire, le collage au moyen d'une substance adhésive et l'utilisation d'un composé intermédiaire.

Cet assemblage du premier substrat sur le second substrat peut aussi se faire avec interposition d'une couche intermédiaire. La présence d'une couche intermédiaire peut modifier la rigidité apparente de la membrane et modifier les conditions de transfert. En particulier, cela peut modifier les conditions de recuit et/ou les conditions mécaniques de fracture.

Avantageusement, le détachement desdites couches minces se fait par application d'un traitement thermique et/ou par application de forces mécaniques. Dans tous les cas, les conditions de transfert dépendent bien évidemment des conditions d'implantation (dose, énergie, budget thermique fourni à la plaque) et des contraintes imposées à la zone implantée par la structure. Les forces mécaniques peuvent comprendre des forces de traction et/ou de cisaillement et/ou de flexion. Les forces mécaniques peuvent être appliquées

perpendiculairement aux plans des couches et/ou parallèlement à celles-ci. Elles peuvent être localisées en un point ou une zone ou être appliquées à différents endroits de façon symétrique ou dissymétrique. L'apport d'énergie thermique peut être
5 réalisé par exemple par l'utilisation d'un faisceau laser. L'apport d'énergie mécanique peut se faire par l'utilisation d'ultrasons.

Si le détachement d'une couche mince
10 implique l'application d'un traitement thermique, celui-ci peut s'effectuer sous pression contrôlée (par exemple une pression de gaz ou une pression mécanique). La réduction de la pression au moment du traitement thermique ou au moment de la séparation peut faciliter celle-ci. Il est ainsi possible d'obtenir des
15 séparations pour des doses de gaz implanté et/ou des traitements thermiques plus faibles. Par traitements thermiques plus faibles on entend des recuits réalisés avec une température plus faible et/ou avec un temps plus faible. Dans le cas où la pression est augmentée,
20 les conditions de fracture au moment où la séparation a lieu sont modifiées et l'on peut retarder la séparation. Ce retard peut présenter un avantage en induisant une rugosité de surface après fracture plus faible mais il peut aussi permettre d'obtenir la
25 fracture dans des conditions où le bullage serait atteint avec un recuit à la pression atmosphérique.

Selon les applications, après le détachement d'avec au moins un substrat, la membrane mince peut être fixée à un support final ou temporaire.
30

L'invention a aussi pour objet une structure à membrane mince obtenue selon le procédé ci-dessus. Cette structure peut comprendre un support supportant cette membrane, ce support pouvant être en
35 un matériau choisi parmi les matériaux semi-

conducteurs, les matériaux plastiques, les matériaux céramiques et les matériaux transparents.

L'une des couches minces peut être en silicium et l'autre en matériau semi-conducteur III-V, par exemple en GaAs.

La membrane peut comporter également une couche intermédiaire interposée entre les deux couches minces. Par exemple, les deux couches minces sont en Si et la couche intermédiaire est en SiO_2 , en Si_3N_4 ou en une combinaison de plusieurs matériaux et/ou multicouches. Selon un autre exemple, les deux couches minces sont en matériau semi-conducteur et la couche intermédiaire est en matériau conducteur comme le palladium.

Selon une autre variante de réalisation, l'une des couches minces est en Si, l'autre couche est en Ge, les couches minces étant dopées pour que la structure constitue une cellule photovoltaïque.

20 Brève description des dessins

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- les figures 1 à 4 illustrent différentes étapes du procédé selon la présente invention pour obtenir une membrane auto-portée,
- la figure 5 représente une première structure comportant un support supportant une membrane mince selon la présente invention,
- la figure 6 représente une deuxième structure comportant un support supportant une membrane mince selon la présente invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

Les substrats à partir desquels seront
5 constituées les couches minces peuvent être massifs ou comprendre déjà une ou plusieurs couches minces déposées par exemple par épitaxie.

L'implantation d'espèces gazeuses peut être
réalisée, pour chaque substrat, à des énergies et à des
10 doses différentes. Elle peut aussi être réalisée à partir d'espèces gazeuses différentes.

La fixation des substrats l'un sur l'autre
peut être réalisée par collage par adhésion moléculaire
avec éventuellement la présence d'une couche
15 intermédiaire qui peut avoir différentes fonctions. Elle peut être choisie à cause de ses propriétés électroniques et/ou optiques et/ou mécaniques et/ou thermiques. Elle peut être isolante ou conductrice. Ses propriétés mécaniques peuvent être choisies de façon à
20 rigidifier la structure et permettre une diminution de l'épaisseur nécessaire.

La séparation des couches minces d'avec
leurs substrats peut être réalisée de façon simultanée
ou de façon consécutive. La séparation peut être
25 réalisée au moyen de traitement thermique et/ou au moyen de forces mécaniques appliquées simultanément ou après l'éventuel traitement thermique. Dans le cas où le traitement thermique a pour but d'obtenir la séparation, celui-ci doit être réalisé avec un budget
30 thermique qui est fonction de tous les autres traitements thermiques précédant ce recuit (implantation, collage,...). Dans le cas où la séparation utilise un effort mécanique, le traitement thermique peut être faible voire même nul si la plaque a été
35 suffisamment fragilisée au cours de l'étape

d'implantation. La séparation mécanique a lieu, par exemple, à l'aide de forces de traction, de cisaillement, de flexion, appliquées de façon séparées ou en combinaison les unes avec les autres.

5 Une variante du procédé consiste après séparation totale (c'est-à-dire des deux substrats) ou séparation partielle (c'est-à-dire d'un substrat), en la mise en contact de l'une des couches minces avec un support qui permet de maintenir la membrane. Ce support
10 peut être un support intermédiaire permettant de réaliser des étapes de fabrication de composants ou être le support final. L'utilisation de support intermédiaire peut permettre de choisir la face sur laquelle on veut réaliser ces étapes.

15 L'invention présente de nombreux avantages qui vont être récapitulés ci-dessous.

 Elle procure la possibilité d'obtenir des membranes autoportées par implantation ionique à l'aide d'implanteurs classiques qui fonctionnent avec des
20 énergies d'implantation de l'ordre de 200 keV.

 Pour une épaisseur de membrane donnée, lorsque les deux substrats sont implantés avant leur fixation, l'utilisation de deux substrats implantés permet de diminuer de moitié la profondeur
25 d'implantation et donc de diminuer l'énergie nécessaire pour cette implantation. Cette diminution d'énergie modifie la dose limite nécessaire au transfert d'une couche mince. En effet, il a été constaté que la dose limite permettant ce transfert augmente lorsque
30 l'énergie d'implantation augmente. A titre d'exemple, pour le cas d'ions hydrogène et pour une énergie de 90 keV, la dose nécessaire au transfert est de l'ordre de $3,5 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ alors que cette dose est de l'ordre de $4,5 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ à 400 keV (dose donnée à titre
35 indicatif pour un même planteur donné, c'est-à-dire à

conditions de courant d'implantation, de contact thermique, de refroidissement éventuel fixées). En résumé, deux implantations n'entraînent pas forcément une dose double.

5 Il est possible d'obtenir des membranes fines composées d'au moins deux couches en matériaux différents. Il suffit pour cela de mettre en contact deux types de matériaux implantés, la mise en contact pouvant s'effectuer par différents moyens (collage par
10 adhésion moléculaire, utilisation d'un composé intermédiaire, ou même de colle). Parmi les composés intermédiaires, on peut citer à titre d'exemple des composés métalliques, ou des composés isolants et/ou des composés qui permettent de contrôler les
15 contraintes apparaissant dans la structure suite à l'association de couches de matériaux différents. On peut ainsi, grâce à ce procédé, réaliser différentes structures avec au moins deux couches monocristallines qui peuvent éventuellement être de part et d'autre d'un
20 film isolant ou conducteur.

Il est possible de réaliser la structure choisie grâce au choix des profondeurs d'implantation qui peuvent être différentes dans les deux cas. Cette possibilité autorise l'obtention de membranes
25 dissymétriques. Il faut remarquer que la dose limite nécessaire à la séparation est fonction de l'énergie d'implantation et du matériau.

Etant donné qu'il existe deux zones (une dans chaque substrat) contenant des microcavités
30 conduisant à la séparation par fracture des substrats, il est possible de contrôler une zone de fracture par rapport à l'autre. En effet, si l'implantation des substrats est réalisée dans des conditions différentes pour chaque substrat, on peut obtenir d'abord la
35 séparation d'une couche d'avec son substrat tandis que

l'autre couche est encore solidaire de son substrat. On obtient alors une membrane constituée de deux couches minces encore solidaire de l'un des substrats. On peut alors réaliser tout ou partie d'un ou de plusieurs composants sur la face révélée par la séparation. En particulier, des étapes comprenant des traitements thermiques peuvent être réalisées. Ensuite, cette face révélée peut être collée sur un support et la séparation de l'autre couche mince d'avec son substrat peut être obtenue à l'aide de forces mécaniques et/ou d'un traitement thermique.

L'intérêt d'obtenir une membrane très mince est qu'on peut la déposer sur n'importe quel support sans qu'il y ait une forte adhésion entre la membrane et ce support. On peut alors obtenir une membrane auto-portée, ce qui est notamment intéressant pour les applications de substrat compliant ou de report sur substrat à forte variation de coefficient de dilatation thermique.

Les espèces gazeuses peuvent être introduites ou localisées au niveau de la zone choisie pour la fracture par différentes méthodes. On peut citer à titre d'exemple, l'implantation d'ions par bombardement (équivalent à l'immersion plasma) ou des méthodes basées sur la diffusion et le piégeage par des inclusions.

Les figures 1 à 4 sont des vues transversales qui illustrent l'obtention d'une membrane auto-portée, par le procédé de la présente invention, à partir de deux substrats en silicium implantés identiquement.

L'implantation est réalisée par exemple avec des ions hydrogène à une dose de 7.10^{16} H⁺/cm² et pour une énergie de 200 keV. Le résultat obtenu est illustré par les figures 1 et 2. La figure 1 montre un

premier substrat 10 possédant une zone continue et enterrée de microcavités 11 séparée de la face implantée 12 par la couche mince 13. La figure 2 montre un second substrat 20 possédant une zone continue et enterrée de microcavités 21 séparée de la face implantée 22 par la couche mince 23.

Les substrats 10 et 20 sont ensuite collés l'un à l'autre par les faces implantées 12 et 22 à l'aide d'une technique de collage par adhésion moléculaire. On obtient la structure représentée à la figure 3.

Un recuit de cette structure à une température de l'ordre de 500°C durant 30 minutes ou à 400°C pendant 1 heure induit une fracture des substrats dans les zones de microcavités. Ce budget thermique peut être abaissé si les conditions d'implantation sont modifiées, par exemple si la dose est modifiée. Après fracture des substrats, il subsiste une membrane, d'environ 3,5 µm d'épaisseur, constituée de l'association des deux couches minces.

Après retrait d'au moins l'un des deux substrats, la membrane est disponible et peut être recueillie soit manuellement (elle est alors auto-portée), soit en la faisant adhérer sur un support (par exemple une plaque semi-conductrice) ou en la collant sur un film plastique souple.

La figure 4 représente une membrane auto-portée 1 constituée des deux couches minces 13 et 23.

La figure 5 représente une structure comprenant un support 2, par exemple en verre, sur lequel la membrane 1 a été collée. Le support 2 peut présenter un coefficient de dilatation thermique différent de celui de la membrane. Il peut être par exemple en silice pure.

Pour certaines applications, il peut être intéressant d'avoir au sein de la membrane une couche d'oxyde. Pour cela, l'un des substrats (ou les deux) sera recouvert d'une couche d'oxyde. On obtient ainsi
5 une membrane formée d'une couche mince de silicium sur une couche d'oxyde qui repose elle-même sur une couche mince de silicium. Cette membrane peut être reportée sur un support quelconque. C'est ce que représente la figure 6 qui montre une structure comprenant un support
10 3, par exemple en verre, sur lequel une membrane 40 a été collée. Cette membrane 40 comprend une première couche de silicium 41 reposant sur le support 3, une couche d'oxyde 42 et une seconde couche de silicium 43.

Pour d'autres applications, si l'on désire
15 un contact électrique entre les deux couches de la membrane, on peut utiliser une couche intermédiaire métallique, par exemple en palladium.

Le procédé selon la présente invention permet l'obtention d'une membrane comprenant une couche
20 de GaAs et une couche de silicium à partir de substrats correspondants. A titre d'exemple, le substrat de GaAs est implanté avec une dose de $8 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ à 200 keV et le substrat de silicium est implanté avec une dose de $10^{17} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ à 200 keV. Les deux substrats, après
25 nettoyage, sont collés selon leurs faces implantées par adhésion moléculaire. La structure obtenue est recuite dans un four à 250°C pendant 30 minutes. Ce traitement thermique induit une fracture le long de la zone implantée dans le substrat de GaAs. A ce stade, on a
30 obtenu le transfert d'une couche de GaAs sur un substrat de silicium implanté. Un recuit à 350°C pendant 1 heure de la structure obtenue provoque une fracture le long de la zone implantée dans le substrat de silicium. On obtient une membrane fine composée
35 d'une couche mince de silicium et d'une couche mince de

GaAs, qui peut être utilisée comme substrat de croissance pour former une couche d'un nouveau matériau.

5 Ce procédé permet aussi d'obtenir une membrane uniquement en GaAs à partir de deux substrats en GaAs. Grâce au procédé de l'invention, cette membrane peut être reportée sur n'importe quel type de support, même si celui-ci présente un état de surface incompatible avec le collage par adhésion moléculaire
10 ou si les coefficients de dilatation thermique entre les différents matériaux de la structure sont tels que de fortes contraintes thermiques se manifestent si la structure ainsi formée est recuite. Ce procédé permet également de coller la membrane sur son support à
15 l'aide d'une simple colle ou par soudure ou brasure.

Le procédé selon l'invention permet la réalisation d'une cellule photovoltaïque comportant deux matériaux (Si et Ge) ayant des spectres d'absorption complémentaires afin d'absorber une large
20 part du spectre solaire avec des couches minces. Pour cela, un substrat de silicium est implanté avec une dose de $7 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ et une énergie de 200 keV en vue d'obtenir une couche mince de $1,8 \mu\text{m}$ d'épaisseur. Un substrat de germanium est implanté avec une dose de
25 $7 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ et une énergie de 200 keV en vue d'obtenir une couche mince de $1,6 \mu\text{m}$ d'épaisseur. Si cela est nécessaire, les substrats de Si et de Ge ont été fortement dopés en surface pour réaliser une jonction tunnel dans la future membrane. Les substrats sont
30 ensuite collés, par adhésion moléculaire, selon leurs faces implantées. Ce collage peut être réalisé par l'intermédiaire d'une couche conductrice et/ou transparente, par exemple un film de Pd ou d'AlTi de 10 nm d'épaisseur.

Par recuit à 500°C pendant 30 minutes, on provoque une fracture dans le substrat de silicium pour obtenir la couche mince correspondante. La partie restante du substrat de silicium est retirée. Une
5 épitaxie peut éventuellement être réalisée sur la couche mince de silicium afin d'améliorer l'absorption photonique par le silicium. Cette épitaxie peut être réalisée en phase liquide ou en phase gazeuse.

On réalise ensuite les éléments de la
10 cellule côté silicium, à une température inférieure à 937°C et la structure est collée, côté silicium, sur un support en verre.

Ensuite, à l'aide de forces mécaniques, par exemple à l'aide de forces de traction, on détache la
15 couche mince de germanium de son substrat pour obtenir une membrane. Un film métallique est alors déposé sur la couche mince de germanium pour former l'électrode face arrière de la cellule qui est encapsulée.

En réalisant des implantations d'hydrogène
20 à plus forte énergie (par exemple à 400 keV), on obtiendrait des couches de silicium et de germanium plus épaisses, donc présentant une plus forte absorption photonique.

On voit par cet exemple l'intérêt de
25 réaliser des membranes composées de deux matériaux avec des épaisseurs importantes et dans tous les cas supérieures aux épaisseurs obtenues avec une énergie d'implantation de 200 keV.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'une membrane mince (1, 40), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

5 - implantation d'espèces gazeuses au travers d'une face (12) d'un premier substrat (10) et au travers d'une face (22) d'un second substrat (20) apte à créer dans ces substrats des microcavités (11, 10 21) délimitant pour chaque substrat une couche mince (13, 23) comprise entre ces microcavités et la face implantée, les microcavités étant aptes à provoquer, postérieurement à leur implantation, le détachement de la couche mince de son substrat ;

15 - assemblage du premier substrat (10) sur le second substrat (20) de façon que les faces implantées (12, 22) soient en regard ;

20 - détachement de chaque couche mince de son substrat, les couches minces (13, 23) restant assemblées entre elles pour fournir ladite membrane mince (1, 40).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les étapes se déroulent dans l'ordre suivant :

25 - implantation du premier substrat (10) et du second substrat (20),

- assemblage du premier substrat (10) sur le second substrat (20) selon les faces implantées (12, 22),

30 - détachement de chaque couche mince (13, 23), soit de manière simultanée soit de manière successive.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les étapes se déroulent dans l'ordre suivant :

35

- implantation du premier substrat,
 - assemblage de la face implantée du premier substrat sur une face du second substrat destinée à être implantée par la suite,
 - 5 - détachement de la couche mince du premier substrat, laquelle reste assemblée sur le second substrat,
 - implantation du second substrat au travers de la couche mince détachée du premier
 - 10 substrat,
 - détachement de la couche mince du second substrat, laquelle reste assemblée à la couche mince du premier substrat pour fournir ladite membrane mince.
4. Procédé selon l'une quelconque des
- 15 revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est prévu une étape préliminaire à l'implantation, consistant à réaliser une couche d'inclusions dans le substrat à implanter, à une profondeur correspondant à l'épaisseur désirée pour la couche mince à élaborer
- 20 dans ce substrat, les inclusions constituant des pièges pour les espèces gazeuses qui seront ensuite implantées.
5. Procédé selon l'une quelconque des
- 25 revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la profondeur moyenne d'implantation des espèces gazeuses est, dans un substrat en matériau monocristallin, déterminée en fonction de la disposition du réseau cristallographique du matériau monocristallin par rapport à la direction d'implantation.
6. procédé selon l'une quelconque des
- 30 revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'implantation est réalisée au travers d'une face du premier substrat et/ou du second substrat à partir de laquelle tout ou partie d'au moins un composant

électronique et/ou optoélectronique et/ou optique et/ou un microsystème a été élaboré.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, le
5 détachement de chaque couche mince se faisant de manière successive, on élabore, après qu'un premier détachement de couche mince a été réalisé, tout ou partie d'au moins un composant électronique et/ou optoélectronique et/ou optique et/ou un microsystème
10 sur la couche mince révélée par ce premier détachement.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que
l'assemblage du premier substrat (10) sur le second substrat (20) se fait par une technique choisie parmi
15 le collage par adhésion moléculaire, le collage au moyen d'une substance adhésive et l'utilisation d'un composé intermédiaire.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que
20 l'assemblage du premier substrat sur le second substrat se fait avec interposition d'une couche intermédiaire (42).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le
25 détachement desdites couches minces (13, 23) se fait par application d'un traitement thermique et/ou par application de forces mécaniques.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdites forces mécaniques
30 comprennent des forces de traction et/ou de cisaillement et/ou de flexion.

12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que l'étape de détachement comprend l'utilisation d'un faisceau laser pour
35 apporter de l'énergie thermique aux microcavités.

13. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que l'étape de détachement comprend l'utilisation d'ultrasons pour apporter de l'énergie mécanique aux microcavités.

5 14. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que, le détachement impliquant l'application d'un traitement thermique, celui-ci s'effectue sous pression contrôlée.

10 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'après le détachement d'avec au moins un substrat, la membrane mince est fixée à un support final ou temporaire.

15 16. Structure à membrane mince (1, 40) obtenue selon l'une quelconque des revendications précédentes.

17. Structure selon la revendication 16, caractérisée en ce qu'elle comprend un support (2, 3) supportant ladite membrane (1, 40).

20 18. Structure selon la revendication 17, caractérisée en ce que le support est en un matériau choisi parmi les matériaux semi-conducteurs, les matériaux plastiques, les matériaux céramiques et les matériaux transparents.

25 19. Structure selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, caractérisée en ce que l'une des couches minces est en silicium et l'autre en matériau semi-conducteur III-V.

30 20. Structure selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, caractérisée en ce que la membrane (40) comporte également une couche intermédiaire (42) interposée entre les deux couches minces (41, 43).

35 21. Structure selon la revendication 20, caractérisée en ce que les deux couches minces sont en Si et la couche intermédiaire est en SiO_2 , en Si_3N_4 ou

en une combinaison de plusieurs matériaux et/ou multicouches.

22. Structure selon la revendication 20, caractérisée en ce que les deux couches minces sont en matériau semi-conducteur et la couche intermédiaire est en matériau conducteur.

23. Structure selon la revendication 22, caractérisée en ce que la couche intermédiaire est en palladium.

24. Structure selon la revendication 17, caractérisée en ce que l'une des couches minces est en Si, l'autre couche est en Ge, les couches minces étant dopées pour que la structure constitue une cellule photovoltaïque.

1 / 2

FIG. 1

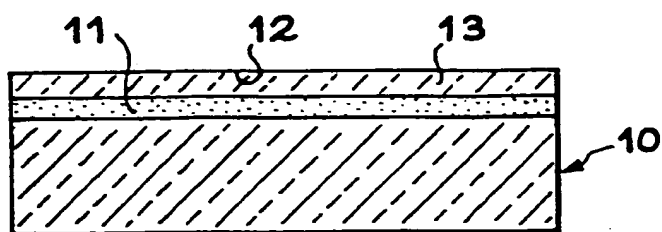


FIG. 2

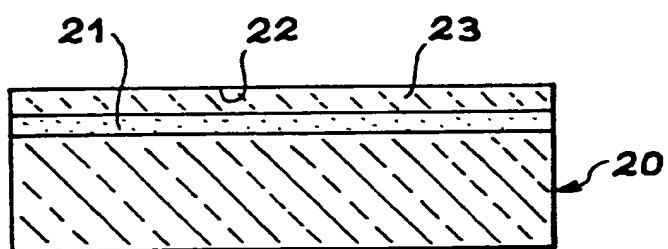
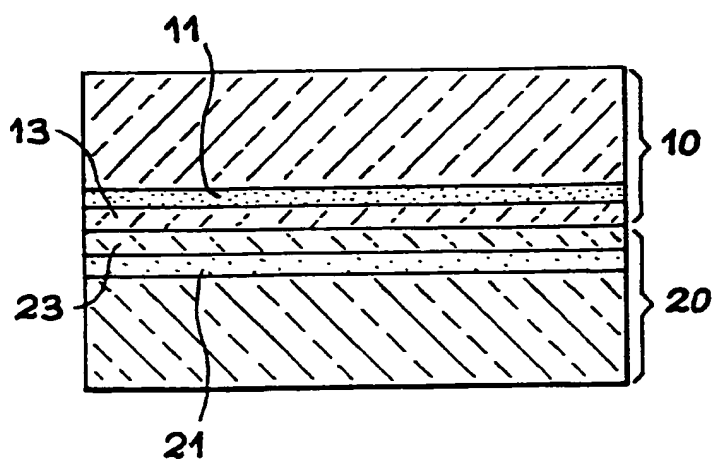


FIG. 3



2 / 2

FIG. 4

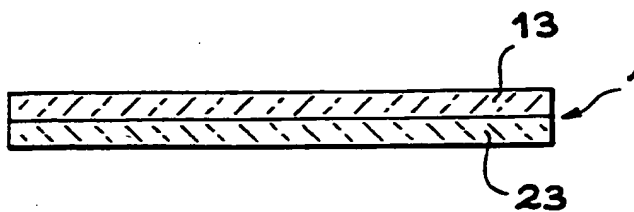


FIG. 5

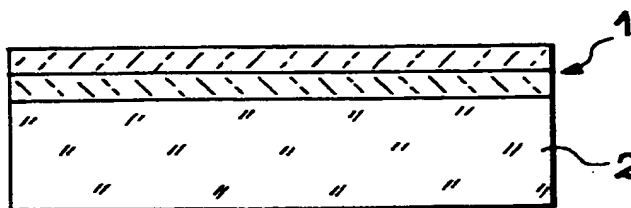
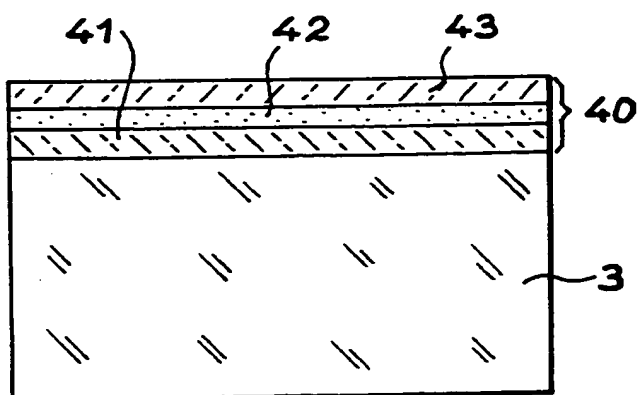


FIG. 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inta. onal Application No

PCT/FR 00/01898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L21/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 849 788 A (CANON KK) 24 June 1998 (1998-06-24) the whole document	1,2
A	US 5 877 070 A (TONG Q-Y ET AL) 2 March 1999 (1999-03-02) the whole document	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 August 2000

Date of mailing of the international search report

23/08/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Königstein, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. l. Application No

PCT/FR 00/01898

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0849788 A	24-06-1998	AU 4846297 A CA 2225131 A CN 1190248 A JP 10233352 A SG 67458 A	25-06-1998 18-06-1998 12-08-1998 02-09-1998 21-09-1999
US 5877070 A	02-03-1999	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. o Internationale No

PCT/FR 00/01898

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01L21/20

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 849 788 A (CANON KK) 24 juin 1998 (1998-06-24) le document en entier	1,2
A	US 5 877 070 A (TONG Q-Y ET AL) 2 mars 1999 (1999-03-02) le document en entier	

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"G" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 août 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

23/08/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Königstein, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Dem .e Internationale No

PCT/FR 00/01898

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0849788 A	24-06-1998	AU 4846297 A	25-06-1998
		CA 2225131 A	18-06-1998
		CN 1190248 A	12-08-1998
		JP 10233352 A	02-09-1998
		SG 67458 A	21-09-1999
US 5877070 A	02-03-1999	AUCUN	